

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6801032号
(P6801032)

(45) 発行日 令和2年12月16日(2020.12.16)

(24) 登録日 令和2年11月27日(2020.11.27)

(51) Int. Cl. F I
 G O 1 B 11/00 (2006.01) G O 1 B 11/00 G
 G O 1 L 11/02 (2006.01) G O 1 L 11/02

請求項の数 21 外国語出願 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2019-49675 (P2019-49675)	(73) 特許権者	515299494
(22) 出願日	平成31年3月18日 (2019. 3. 18)		シンテフ・ティーティーオー・アクチュセルスカベット
(62) 分割の表示	特願2016-520508 (P2016-520508) の分割		ノルウェー・N-7465・トロンドハイム・スルッペン・ポストボックス・4764
原出願日	平成26年6月20日 (2014. 6. 20)	(74) 代理人	100108453
(65) 公開番号	特開2019-90837 (P2019-90837A)		弁理士 村山 靖彦
(43) 公開日	令和1年6月13日 (2019. 6. 13)	(74) 代理人	100110364
審査請求日	平成31年3月20日 (2019. 3. 20)		弁理士 実広 信哉
(31) 優先権主張番号	20130866	(74) 代理人	100133400
(32) 優先日	平成25年6月21日 (2013. 6. 21)		弁理士 阿部 達彦
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ノルウェー (NO)	(72) 発明者	マシュー・ラコーレ
(31) 優先権主張番号	20130884		ノルウェー・1397・ネソヤ・ミュールヴァイエン・22アール
(32) 優先日	平成25年6月26日 (2013. 6. 26)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ノルウェー (NO)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学変位センサ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも3つの回折パターンを有する第2の表面と、を含む光学変位センサであって、前記表面が、それらの間の距離が可変である素子上に提供され、前記部分的に反射性の表面が、各回折パターンとともに各対を画定し、前記各対が、それらの間に各キャビティを画定し、前記各キャビティがそれぞれあるキャビティ長さを有し、

前記センサがさらに、少なくとも1つの選択された波長レンジの光を前記キャビティに伝達する少なくとも1つの光源と、前記キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、前記レンジ内の選択された波長において最大回折効率を提供するように適合され、前記回折パターンが、光を、回折表面に対して既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けてように適合され、前記検出器が、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合され、それによって、3つまたはそれ以上の信号が発生され、前記センサがさらに、前記3つまたはそれ以上の信号を処理して、前記光源の強度に独立である、前記第1の少なくとも部分的に反射性の表面と前記第2の表面との間の変位の測定を提供するように構成された処理手段を含み、

前記対が、前記選択された波長においてそれぞれ0、2 / 3及び4 / 3の位相オフセットを提供する、光学変位センサ。

【請求項2】

前記回折パターンが、前記それぞれのセンサに向けて光を集束する回折レンズである、

請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 3】

各回折レンズが、ビーム中心に対してシフトされた光軸を有する円形パターンによって構成された、請求項 2 に記載のセンサ。

【請求項 4】

各回折レンズの中心の領域が、前記光源から前記検出器へ反射を向けるのを防ぐように、表面処理を有して提供される、請求項 3 に記載のセンサ。

【請求項 5】

キャビティ長さの差が、格子から向けられた光の間の選択された位相差を提供するように選択される、請求項 1 に記載のセンサ。

10

【請求項 6】

前記光源が、ある領域を覆う光ビームを放出し、前記ビームの断面に渡る前記キャビティの大きさが、同じ光の量にさらされるように、前記ビームの等しい領域を覆う、請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 7】

前記第 2の表面が、前記光源に反射を戻すように向けるのを防ぐように処理された、請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 8】

前記光源が、前記第 1の少なくとも部分的に反射性の表面と同軸に配置され、前記キャビティ及び検出器が、前記光軸の周りに分布された、請求項 3 に記載のセンサ。

20

【請求項 9】

前記キャビティが、前記光軸の周りの等しい大きさの領域の区画を構成する、請求項 8 に記載のセンサ。

【請求項 10】

前記光源が、前記光軸から外れて配置され、前記キャビティが、前記ビーム中心の中心からの距離に対する周辺部の等しい領域及び区画を覆う、請求項 3 に記載のセンサ。

【請求項 11】

前記光源が、いくつかの選択された波長で光を伝達する光ファイバーを通して前記キャビティを照射し、各回折パターンが、選択された波長の 1 つで光を 1 つまたはいくつかの光ファイバーに向け、前記光ファイバーが、信号を 1 つまたはいくつかの検出器に伝達する、請求項 1 に記載のセンサ。

30

【請求項 12】

前記光源が、いくつかの選択された波長の光を伝達する光ファイバーを通して前記キャビティを照射し、各回折パターンが、信号を 1 つまたはいくつかの検出器に伝達するように適合された前記光ファイバーに向けて光を戻す、請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 13】

前記光ファイバーと前記回折パターンとの間の分散素子が、異なる波長を異なる回折パターンに向ける、請求項 11または12に記載のセンサ。

【請求項 14】

前記キャビティが、異なるキャビティ長さを画定する、請求項 1 に記載のセンサ。

40

【請求項 15】

前記キャビティが、異なる波長の光で照射される、請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 16】

前記表面の 1 つがメンブレン上に配置された、請求項 1 に記載のセンサを含むマイクロフォン。

【請求項 17】

第 1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも 2 つの回折パターンを有する第 2の表面と、を含む光学変位センサであって、前記表面が、それらの間の距離が可変である素子上に提供され、前記部分的に反射性の表面が、各回折パターンとともに各対を画定し、前記各対が、それらの間に各キャビティを画定し、前記各キャビティがそれぞれある

50

キャビティ長さを有し、

前記センサがさらに、少なくとも1つの選択された波長レンジの光を前記キャビティに伝達する少なくとも1つの光源と、前記キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、前記レンジ内の選択された波長において最大回折効率を提供するように適合され、前記回折パターンが、光を、回折表面に対して既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合され、前記検出器が、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合され、それによって、3つまたはそれ以上の信号が発生され、前記センサがさらに、前記3つまたはそれ以上の信号を処理して、前記光源の強度に独立である、前記第1の少なくとも部分的に反射性の表面と前記第2の表面との間の変位の測定を提供するように構成された処理手段を含み、

10

前記少なくとも2つの回折パターンが、第1及び第2の回折パターンを含み、前記選択された波長において、前記第1の回折パターンが、それぞれ、前記第1のパターンからの回折信号と前記第1のパターンからの反射信号との間で0及び π の位相オフセットを提供し、前記第2の回折パターンが、前記第2のパターンからの回折信号と前記第2のパターンからの反射信号との間で $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ の位相オフセットを提供する、光学変位センサ。

【請求項18】

第1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも4つの回折パターンを有する第2の表面と、を含む光学変位センサであって、前記表面が、それらの間の距離が可変である素子上に提供され、前記部分的に反射性の表面が、各回折パターンとともに各対を画定し、前記各対が、それらの間に各キャビティを画定し、前記各キャビティがそれぞれあるキャビティ長さを有し、

20

前記センサがさらに、少なくとも1つの選択された波長レンジの光を前記キャビティに伝達する少なくとも1つの光源と、前記キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、前記レンジ内の選択された波長において最大回折効率を提供するように適合され、前記回折パターンが、光を、回折表面に対して既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合され、前記検出器が、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合され、それによって、3つまたはそれ以上の信号が発生され、前記センサがさらに、前記3つまたはそれ以上の信号を処理して、前記光源の強度に独立である、前記第1の少なくとも部分的に反射性の表面と前記第2の表面との間の

30

変位の測定を提供するように構成された処理手段を含み、前記対が、前記選択された波長においてそれぞれ0、 $\pi/2$ 、 π 及び $3\pi/2$ の位相オフセットを提供する、光学変位センサ。

【請求項19】

第1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも5つの回折パターンを有する第2の表面と、を含む光学変位センサであって、前記表面が、それらの間の距離が可変である素子上に提供され、前記部分的に反射性の表面が、各回折パターンとともに各対を画定し、前記各対が、それらの間に各キャビティを画定し、前記各キャビティがそれぞれあるキャビティ長さを有し、

40

前記センサがさらに、少なくとも1つの選択された波長レンジの光を前記キャビティに伝達する少なくとも1つの光源と、前記キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、前記レンジ内の選択された波長において最大回折効率を提供するように適合され、前記回折パターンが、光を、回折表面に対して既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合され、前記検出器が、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合され、それによって、3つまたはそれ以上の信号が発生され、前記センサがさらに、前記3つまたはそれ以上の信号を処理して、前記光源の強度に独立である、前記第1の少なくとも部分的に反射性の表面と前記第2の表面との間の

変位の測定を提供するように構成された処理手段を含み、前記対が、前記選択された波長においてそれぞれ0、 $2\pi/5$ 、 $4\pi/5$ 、 $6\pi/5$ 及び $8\pi/5$ の位相オフセットを提供する、光学変位センサ。

50

【請求項 20】

第1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも7つの回折パターンを有する第2の表面と、を含む光学変位センサであって、前記表面が、それらの間の距離が可変である素子上に提供され、前記部分的に反射性の表面が、各回折パターンとともに各対を画定し、前記各対が、それらの間に各キャビティを画定し、前記各キャビティがそれぞれあるキャビティ長さを有し、

前記センサがさらに、少なくとも1つの選択された波長レンジの光を前記キャビティに伝達する少なくとも1つの光源と、前記キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、前記レンジ内の選択された波長において最大回折効率を提供するように適合され、前記回折パターンが、光を、回折表面に対して既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合され、前記検出器が、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合され、それによって、3つまたはそれ以上の信号が発生され、前記センサがさらに、前記3つまたはそれ以上の信号を処理して、前記光源の強度に独立である、前記第1の少なくとも部分的に反射性の表面と前記第2の表面との間の変位の測定を提供するように構成された処理手段を含み、

前記対が、前記選択された波長においてそれぞれ 0 、 $2 \pi / 7$ 、 $4 \pi / 7$ 、 $6 \pi / 7$ 、 $8 \pi / 7$ 、 $10 \pi / 7$ 及び $12 \pi / 7$ の位相オフセットを提供する、光学変位センサ。

【請求項 21】

第1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも3つの回折パターンを有する第2の表面と、を含む光学変位センサであって、前記表面が、それらの間の距離が可変である素子上に提供され、前記部分的に反射性の表面が、各回折パターンとともに各対を画定し、前記各対が、それらの間に各キャビティを画定し、前記各キャビティがそれぞれあるキャビティ長さを有し、

前記センサがさらに、少なくとも1つの選択された波長レンジの光を前記キャビティに伝達する少なくとも1つの光源と、前記キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、前記レンジ内の選択された波長において最大回折効率を提供するように適合され、前記回折パターンが、光を、回折表面に対して既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合され、前記検出器が、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合され、それによって、3つまたはそれ以上の信号が発生され、前記センサがさらに、前記3つまたはそれ以上の信号を処理して、前記光源の強度に独立である、前記第1の少なくとも部分的に反射性の表面と前記第2の表面との間の変位の測定を提供するように構成された処理手段を含み、

前記少なくとも3つの回折パターンが、第1、第2及び第3の回折パターンを含み、前記選択された波長において、第1の回折パターンがそれぞれ、前記第1のパターンから回折された信号と反射された信号との間で 0 及び π の位相オフセットを提供し、第2の回折パターンがそれぞれ、前記第2のパターンから回折された信号と反射された信号との間で $\pi / 3$ 及び $4 \pi / 3$ の位相オフセットを提供し、第3の回折パターンがそれぞれ、前記第3のパターンから回折された信号と反射された信号との間で $2 \pi / 3$ 及び $5 \pi / 3$ の位相オフセットを提供する、光学変位センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学変位センサ素子に関する。一例は、スペーサによって画定されたキャビティによって離隔された2つの本質的に平坦な表面を含み、表面の距離がキャビティ内の圧力に対する環境の圧力変動に基づいて変化し得る圧力センサまたはマイクロフォンでありうる。表面間の距離の変化は、一方または両方の表面の変形によって、またはスペーサの圧縮によって発生し得る。

【背景技術】

【0002】

最近まで、マイクロフォンのような変位センサは、キャパシタ構造及びインピーダンス

10

20

30

40

50

測定に基づくものであった。これは、感度、高電圧バイアス、層間分離、背面電極に対するメンブレンの整列及び位置決定、プリアンプの必要性の高さ及び非線形応答に関する多くの欠点を有し、これら全てはコストがかかり、複雑な解決手段を必要とする結果となる。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 には、変調された回折効率を有する回折構造が、変位、圧力、音響信号又はその他同様なものを、複雑な光学系を必要とすることなく測定するための光学センサ素子を提供するために使用されるという改善方法が説明されている。これは、複雑な光学系の必要性を取り除き、または低減することができるように、集束能力を有する格子を用いて達成される。これは、フレネル領域平面に基づいて以下に説明される。フレネル領域平面は、回折に基づく平面レンズを提供することが知られている。この構造は図 1 に示される。しかし、この解決手段は、図 2 に示されるように、およそ $\lambda/8$ に限定されるダイナミックレンジを有し、これは反射表面を移動させることにより発生する信号を示す。信号は周期的である（最初の周期のみが図に示されている）。2 つの第 1 の動作点が、 $\lambda/8$ 及び $3\lambda/8$ における 2 つの円によって示される。矢印は、センサのダイナミックレンジを示しており、発生した信号は、反射表面位置に対してほとんど線形的である。

10

【 0 0 0 4 】

ダイナミックレンジが位相がずれたいくつかの信号を結合することによって増大する、サインまたは準サイン信号を発生させる、別の種類の位置センサが存在する。非特許文献 1 及び非特許文献 2 は、いくつかの波長のダイナミックレンジで位置を得るために 0 、 120° 及び 240° 位相シフトを有する 3 つの信号を使用した、ファイバー系位置センサの例を議論している。非特許文献 3 に説明されるように、直角位相 (90° 位相オフセット) の信号を使用することも可能である。

20

【 0 0 0 5 】

これはまた、特許文献 2 の特に要約並びに段落 [0 0 1 3]、[0 0 1 6] 及び [0 0 2 0] において、光学干渉センサで言及されている。

【 0 0 0 6 】

先行技術のもう 1 つの例は、特許文献 3 に示されており、これはファブリーペロー共振器に限定されており、反射光の量が測定される。反射されなかった光は透過する。この原理は、キャビティ長さの変化が格子の回折効率、すなわち光が 0 次 (鏡面反射) 及び -1 / $+1$ 次に主に向けられる量を変調する、我々の発明の格子読み出しとは異なる。メンブレンが全反射する場合、光は全く透過しない。ファブリーペローデバイスの全反射メンブレンの使用は、うまくいかないであろう。キャビティ長さの変化によって反射光の変調は全く発生しないであろう。

30

【 0 0 0 7 】

しかし、特許文献 3 は、ダイナミックレンジを拡張するためにいくつかの信号を使用することに言及しているが、まず、これらの信号は異なる波長で発生する。この時、段落 [0 0 2 0] は、いくつかの信号によってインタロゲートすることが可能な複数の光学キャビティの積層体の使用及び、複数の光源の使用に言及している。非特許文献 4 は、2 つの異なる格子線周期を有する 2 つの異なる格子を用いた、交互配置された変位エンコーダを示している。この実験において、2 つの格子からの信号は、光が回折される角度によって分離され、これは今度は格子線の周期の関数となる。2 つの信号を分離するために、デバイスは、コリメートされた光 (ここでは集光レンズを有するバルク HeNe レーザー) によって照射されなければならない。結果的に得られる測定は、直交位相の 2 つの信号のために、照射波長の数倍のダイナミックレンジで実施可能であるが、この測定は、レーザー強度の変動によって影響を受けることとなる。

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

50

- 【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0018541号明細書
- 【特許文献2】米国特許出願公開第2009/0268211号明細書
- 【特許文献3】米国特許第7355720号明細書
- 【特許文献4】欧州特許出願公開第2482040号明細書
- 【特許文献5】米国特許出願公開第2005/0253052号明細書
- 【特許文献6】国際公開第2002/004895号
- 【特許文献7】米国特許出願公開第2011/0194857号明細書
- 【特許文献8】米国特許出願公開第2011/0194711号明細書
- 【特許文献9】米国特許出願公開第2004/0130728号明細書
- 【特許文献10】米国特許出願公開第2006/0192976号明細書

10

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】Brown, David A.ら著、“A symmetric 3x3 coupler based demodulator for fiber optic interferometric sensors”. SPIE, Fiber Optic and Laser Sensors IX Vol. 1584 (1991)

【非特許文献2】Reid, Greg J., and David A. Brown著、“Multiplex architecture for 3 x 3 coupler based fiber optic sensors.” SPIE, Distributed and Multiplexed Fiber Optic Sensors RI, Boston (1993)

【非特許文献3】Stowe, D., and Tsung-Yuan Hsu著、“Demodulation of interferometric sensors using a fiber-optic passive quadrature demodulator.” Lightwave Technology, Journal of 1.3 (1983): 519-523

20

【非特許文献4】D. Shin and B Kim著、“A laser interferometer encoder with two micromachined gratings generating phase shifted quadrature”, Journal of Micromechanics and Microengineering. 21 (2011) 085039

【非特許文献5】Lacolleら著、“Micromachined Optical Microphone based on a modulated diffractive lens”, 3rd of the EOS Topical Meeting on Optical Microsystems (O μ S'09), Capri, sept 27-30., 2009

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0010】

30

そのため、本発明の目的は、増大したダイナミックレンジを有する比較的単純かつ高価でない変位センサを提供することである。また、光源における強度変動の効果を減少させる解決手段を提供することも目的である。本発明の目的は、添付された特許請求の範囲に記載された発明に従うセンサを用いることで解決する。提供される解決手段はまた、発散光源（VCSELなど）からの光を異なる光検出器に集束する集束回折パターンを使用することによって、小型のMEMSデバイスに集積されてもよく、それによって異なる回折パターンからの信号を分離する小型で単純な方法を提供する。

【0011】

説明される信号処理は、上述の刊行物、特に特許文献1に基づいている。

【0012】

40

本発明は、いくつかの回折素子の使用に拡張するものとして説明されてもよい。回折素子は、同一の反射表面の下に配置されてもよく、反射表面に対するその高さは、全ての時点において、ほぼ一定である高さオフセット分だけ異なるものでなければならない（このほぼ一定である高さオフセットは、各回折素子ごとに異なる）。異なる回折素子からの反射及び/または回折は、いくつかの検出器に導かれ、位相差を有する信号を発生させる。

【0013】

そのため、この原理は、以下のように説明されうる。

【0014】

各回折素子が光をそれ自体の検出器に導く場合、電気信号は

【0015】

50

【数 1】

$$A_n \approx I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \varphi_n \right) \right)$$

【0016】

与えられ、以下の位相オフセット

【0017】

【数 2】

$$\varphi_n = \frac{4\pi}{\lambda} d_n$$

10

【0018】

を有し、 I は照射強度であり、 λ は照射の波長であり、 d_i は、アイドル位置にある場合の反射表面に対する各回折素子の高さ（距離）であり、 δ はアイドル位置に対する反射表面の変位である。さらに、信号 A がどのように発生するかについての情報は、特許文献 1 に記載されている。

【0019】

そのため原理は、異なる位相オフセットを有するいくつかの信号を読むことであり、この方法は複数位相読み出しと呼ばれる。特殊な場合には、この方法は、（典型的には 180° の位相差を有する 2 つの信号の差を取る場合）差分読み出し、または（ 90° の位相差を有する 2 つの信号を用いる場合）直交読み出しと呼ばれる。

20

【0020】

測定を行い、より直接的に、またはより直接的にではなく、ダイナミックレンジを増加させることができるように、位相がずれたいくつかのサイン波信号を結合させる原理は、いくつかのデバイス、例えば特許文献 4、特許文献 5 及び特許文献 6 の光学位置センサにおいて既に実装されている。その他の応用例は、干渉距離測定及び TV ホログラフィ（簡易特許検索は、これらの最近の出願についての関連する結果を返さなかった）でありうる。我々は、本発明を、回折読み出しを有する位置センサ、すなわち回折格子または集束回折レンズを有する場合の位置センサに限定したい。

30

【0021】

特許文献 1 には、図 9 に示されるように、反射表面に対して 2 つの異なる高さを有する 2 つの回折素子が、 180° の位相差を有する 2 つの信号 A_1 及び A_2 を与える、「差分マイクロフォン」についての実施形態が開示されている。

【0022】

この時、以下の数式が成り立つ。

【0023】

【数 3】

$$\begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \pi \right) \right) = I \left(1 - \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \end{cases}$$

40

【0024】

A_1 及び A_2 を結合し、以下の数式の反射表面の変位を直接的に取り出すことによって照射量 I の変動を打ち消すことができる。

50

【 0 0 2 5 】

【 数 4 】

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \cos^{-1} \left(\frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2} \right)$$

【 0 0 2 6 】

照射量の変動を打ち消すことはまた、位相差 δ の2つの信号を作り出す、回折素子によって集束された（-1次の回折の）光及び、回折素子によって反射された（0次の回折の）光を測定することによっても実装することができる。照射量の変動を打ち消すために反

10

【 0 0 2 7 】

最も高い感度及びほぼ線形的な測定を達成するために、反射表面のアイドル位置または稼働点が、以下の数式で得られる曲線が（高い感度に関して）最も急になり、測定された信号のひずみを防ぐために最も線形的である状態にあることが重要である。

【 0 0 2 8 】

【 数 5 】

$$A = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \varphi \right) \right)$$

20

【 0 0 2 9 】

2つの第1の適切な稼働点が、図2に示されている。

【 0 0 3 0 】

曲線は実際には $\lambda/2$ の距離、または 2π の位相の周期で周期的である。そのため、高い感度及び良好な線形性を確保するために、

【 0 0 3 1 】

【 数 6 】

 φ

30

【 0 0 3 2 】

は、 $\lambda/2$ の整数倍を加えたものに近いものでなければならない。これは、アイドル位置における回折素子と反射表面との間の距離 d が、 $m = 1, 2, 3 \dots$ に対して以下の数式を満たさなければならない。

【 0 0 3 3 】

【 数 7 】

$$d = \frac{\lambda}{8} + m \frac{\lambda}{4}$$

40

【 0 0 3 4 】

したがって、距離 d は非常に正確に定められなければならない。しかし、物理的な実装において、アイドル位置において反射表面に対する回折素子の高さは、第1の箇所において非常に正確な高さでデバイスを製造するのが非常に困難でありうるという事実に加えて、デバイスの熱安定性に起因して変化する可能性がある。この場合、我々は、回折素子の高さの摂動 *d_p e r t u r b a t i o n* を有し、これは経時的に変化し得るかまたは変化しないが、全ての回折素子に関して同じである。

【 0 0 3 5 】

50

特許文献 9 及び 10 において、反射表面が適切な稼働点に静電駆動によって変位されるという解決手段が提案されている。このシステムは、能動フィードバックシステムを必要とする。

【0036】

複数位相読み出しもまた、この問題への改善方法として使用可能である。我々は例えば、N個の回折素子を有するデバイスを製造することができ、n番目の回折素子の高さは以下の数式で与えられ、

【0037】

【数8】

$$d_n = \frac{\lambda}{8} + m \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{4N} + d_{\text{perturbation}}$$

10

【0038】

この場合、以下の数式を満たす回折素子が存在することを確認している。

【0039】

【数9】

$$\left| d_n - \frac{\lambda}{8} - m \frac{\lambda}{4} \right| \leq \frac{\lambda}{2 \cdot 4N}$$

20

【0040】

上記の条件を満たす回折素子を選択することで、全ての時点において良好な感度及び線形性を確保することとなる。例えば、4つの回折素子を有する場合、最も近い理想的な稼働点の高さが $\lambda/32$ 以内、または位相が $\lambda/8$ 以内である稼働点を有する回折素子が存在することとなる。

【0041】

本発明に従って提案される他の新規な特徴は、センサのダイナミックレンジを増加させることである。これにより、センサのダイナミックレンジを約 $\lambda/8$ の動作レンジから数まで増大させることが可能になる。

30

【0042】

これは、直交する以下の2つの信号を与える2つの回折素子を有するセンサの製造によって達成可能である。

【0043】

【数10】

$$\begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta - \frac{\pi}{2} \right) \right) = I \left(1 + \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \end{cases}$$

40

【0044】

変位 δ は以下の複素数を最初に計算し、

【0045】

【数11】

$$\left(\frac{A_1}{I} - 1 \right) + i \left(\frac{A_2}{I} - 1 \right) = \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) + i \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right)$$

50

【 0 0 4 6 】

次いでこの複素数の位相を以下の数式のようにアンラップすることによって得られる。

【 0 0 4 7 】

【 数 1 2 】

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} \left[\text{Arg} \left[\left(\frac{A_1}{I} - 1 \right) + i \left(\frac{A_2}{I} - 1 \right) \right] \right]$$

【 0 0 4 8 】

10

この場合、デバイスは正確なアイドル位置（稼働点）を必要とせず、小さな高さ変動 *p e r t u r b a t i o n* は、デバイスの感度または線形性を劣化させない。他の利点は、数 でありうる反射表面変位の大きさの理論的制限がないことである。しかし、この方法は、照射強度 *I* が既知であることを必要とする。これは、180°位相シフトを有する信号を与える回折素子を追加することによって同じデバイスに実装可能である。

【 0 0 4 9 】

直交する2つの信号からいくつかの波長のダイナミックレンジにおける位置を得るための代替的なアルゴリズムは、非特許文献3に記載されている。

【 0 0 5 0 】

4つの回折素子での複數位相読み出しを有する実装例について考慮されうる。4つの回折素子は以下の数式を与える。

20

【 0 0 5 1 】

【 数 1 3 】

$$\begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \frac{\pi}{2} \right) \right) = I \left(1 - \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_3 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \pi \right) \right) = I \left(1 - \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_4 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \frac{3\pi}{2} \right) \right) = I \left(1 + \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \end{cases}$$

30

【 0 0 5 2 】

変位 は以下の数式で与えられ、

【 0 0 5 3 】

【 数 1 4 】

40

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} \left[\text{Arg} \left[\left(\frac{A_1 - A_3}{A_1 + A_3} \right) + i \left(\frac{A_4 - A_2}{A_2 + A_4} \right) \right] \right]$$

【 0 0 5 4 】

これは照射強度 *I* とは独立である。

【 0 0 5 5 】

これは、上述の、複數位相読み出しの3つの利点である、照射量の変動の打ち消し、稼働点調整、ダイナミックレンジの増大の全てを与える原理の組み合わせである。

【 0 0 5 6 】

50

上述の解決手段の代替として、2つの回折素子の使用は直交する2つの信号を与え、2つの回折素子のそれぞれから回折され、反射された信号の両方が測定される。回折され、反射された信号は(180°位相オフセットだけ)位相が異なる。これは、以下の数式を有する上述の4つの信号を与えるが、Iは、倍数因子分だけ、回折され、反射された信号について異なりうるが、これは容易に修正可能である。

【0057】

【数15】

$$\varphi = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$$

10

【0058】

照射信号及び反射表面変位の両方を、以下の数式の信号を与える3つの回折素子を用いることによって得ることができる。

【0059】

【数16】

$$\begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ A_3 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \frac{2\pi}{3} \right) \right) \end{cases}$$

20

【0060】

次いで、以下の複素数を計算する。

【0061】

【数17】

$$S = A_1 + A_2 \exp \left(i \frac{2\pi}{3} \right) + A_3 \exp \left(-i \frac{2\pi}{3} \right)$$

30

【0062】

計算すると、以下の数式を得る。

【0063】

【数18】

$$S = I \frac{3}{2} \left[\cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) + i \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right]$$

40

【0064】

信号照射量は、Sの絶対値を計算することによって容易に以下の数式で得ることができる。

【0065】

【数 19】

$$I = \frac{2}{3} \text{Abs}(S)$$

【0066】

そして、反射表面変位は、 S の位相を計算し、アンラップすることによって以下の数式で得ることができる。

【0067】

【数 20】

10

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap}[\text{Arg}(S)]$$

【0068】

これもまた、複數位相読み出しの以下の3つの利点、照射量の変動の打消し、稼働点調整、ダイナミックレンジの増大の全てを得ることとなる。

【0069】

0、120°及び240°位相シフトを有する3つの信号から、いくつかの波長のダイナミックレンジの位置を得るための代替的なアルゴリズムは、非特許文献1及び非特許文献2で説明されている。

20

【0070】

より一般的には、3つまたはそれ以上の適切な信号が使用されてもよく、 I を下の数式で得ることができる。

【0071】

【数 21】

$$I = \sum \alpha_i A_i$$

30

【0072】

また、変位を以下の数式で得ることができる。

【0073】

【数 22】

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} \left[\text{Arg} \left[\sum \beta_i \left(\frac{A_i}{I} - 1 \right) \right] \right]$$

40

【0074】

ここで、 β_i は実定数であり、 α_i は複素定数である。

【0075】

より多くの信号を追加することは、測定に冗長性を加えることとなり、測定誤差を低減しうる。

【0076】

本発明の技術的実現性は、例示として本発明を示す添付図面を参照してより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0077】

50

【図 1】先行技術を示す。

【図 2】先行技術を示す。

【図 3】複数位相読み出し及び、ここでは 4 つの回折素子を有する位置センサを示す。

【図 4】光源及び光検出器を有する本発明の 1 つの実施形態に従うデバイスである。

【図 5】光軸をずらした光源及び光検出器を有する発明の他の実施形態に従うデバイスを示す。

【図 6 a】反射表面下の円形領域に配置された、光軸をずらした照射及び 3 つの異なる回折素子を有する図 5 の実施形態を示す。

【図 6 b】反射表面下の円形領域に配置された、光軸をずらした照射及び 3 つの異なる回折素子を有する図 5 の実施形態を示す。

【図 6 c】反射表面下の円形領域に配置された、光軸をずらした照射及び 3 つの異なる回折素子を有する図 5 の実施形態を示す。

【図 7】軸上位置の光源を有する図 4 の実施形態を示す。

【図 8】光軸をずらした実施形態における格子の直接反射を低減するための解決手段を示す。

【図 9】軸上の解決手段の図 8 に類似する解決手段を示す。

【図 10】回折素子からキャビティの反対側の反射表面に実装された凹部を有する実施形態を示す。

【図 11】光を透過し、センサからの光を選択するための光ファイバーを使用する本発明の実施形態を示す。

【図 12】ファイバーを通して戻る異なる波長を受け取る、図 11 に示された実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

【0078】

複数位相読み出しを有する変位センサは図 3 に示されている。デバイスは、少なくとも部分的に反射性であり、メンブレン (4) の側面でありうる表面 (2) と、いくつかの回折素子 (1 a - d) からなる。表面 (2) 及び回折素子 (1 a - d) は、スペーサ (5) によって画定されたキャビティによって隔てられている。この実施形態においては、メンブレン (4) を支持するフレーム (6) が存在する。回折素子 (1 a - d) は、少なくとも部分的に透明な基板 (3) によって支持されている。2 つまたはそれ以上の回折素子が存在し得る (この図においては 4 つである)。(1 a - d) と (2) との間の異なる高さは、基板 (3) 内に凹部を形成することによって実装され、そこに回折素子 (1 a - d) が配置される。

【0079】

回折素子 (1 a - d) は、同じ反射表面 (2) の下に配置され、反射表面に対するそれらの高さは、全ての時点において、ほぼ一定である高さオフセットだけ異なるものでなければならない (このほぼ一定である高さオフセットは、各回折素子とは異なる)。これは、(1) 特許文献 1 に記載のような集束回折レンズであって、この場合回折レンズは異なる光軸を有し、そのためそれらはそれぞれ検出器が配置されうる異なる位置に回折されたスポットを集束する、集束回折レンズとして、または (2) 特許文献 9 及び特許文献 10 に記載のような非集束格子であって、この場合各格子素子からの回折は、格子素子が同じ場所に配置されていない、及び/または格子線が異なる配向を有するという事実によって分離される、非集束格子として、実装可能である。また、回折されまたは反射された光を、いくつかの検出器に集束するために追加的なレンズを使用することも可能でありうる。

【0080】

読み出しの原理は、以下の通りである。回折素子 (1 a - d) と反射表面 (2) との間の距離が変化すると、回折素子 (1 a - d) の回折効率が変調される。変調された信号は、デバイスを狭帯域光源 (7)、例えば VCSEL (図 4 を参照) で照明することによって発生させることができる。このとき、いくつかの光検出器 (8 a - d) は、回折素子によって反射されまたは回折された光を測定する。信号は、回折素子 (1 a - d) と反射表

10

20

30

40

50

面(2)との間の距離に同様の依存性を有するが、位相/高さオフセット(回折素子(1a-d)と反射表面(2)との間の距離に対するオフセット)を伴う。

【0081】

光検出器からの電気信号が処理され、それによって回折素子(1a-d)と反射表面(2)との間の距離が、いくつかの波長のダイナミックレンジで得られる。これを達成するために、高さオフセットを伴う2つまたはそれ以上の回折素子が存在しなければならない。

【0082】

上述したのと同様のデバイスが図5に示されており、ここでは、光源に反射して戻される光の量を低減することができるように、光源が回折素子(1a-d)及び反射表面(2)の平面に対して傾けられている。レーザーダイオードに反射して戻された光は、典型的には光源のノイズを増加させることとなる。

【0083】

上述のように、反射表面に対する回折素子の高さは、全ての時点において、各回折素子に対して固有の一定値だけ異なるものでなければならない。実際には、これは、互いに近接して、回折素子を反射表面下に配置することによって達成することができる。曲げメンブレンの場合、適切な配置は、その屈曲が最小であるメンブレンの中央である。図3において、回折素子は隣り合わせで示されているが、回折素子はむしろ、反射表面下の円形領域に配置することもできる。3つの回折素子を有する2つの例が、図6及び図7に示されている。

【0084】

図6a-cには、光軸を外した、反射表面下の円形領域に配置された3つの異なる回折素子を有する実施形態が示されている。3つの異なる回折素子11、12、13の位置が、図6aに示されている。図6bは、反射線が示された、中央21、22、23を有する集束回折素子を有する実施形態を示している。図6cは、さらに、3つの回折素子によって回折され、集束された光を測定する3つの検出器の位置31、32、33とともに、回折素子の照射のための光源の位置10を示している。光源及び3つの検出器は、回折素子の下に配置された平面に置かれ、相対的な位置は、互いの位置とともに、レンズの反射特性に応じて選択される。

【0085】

円形領域上の3つのレンズの分布は、3つの回折素子全てからの反射に対して、本質的に等しい効率を提供するように選択される。

【0086】

図7は、図6に示されたものと類似した、光軸上の実施形態を示しているが、光源が中央に配置され、そのため回折素子をそれぞれ有して提供される3つの等しい大きさの円形区画11a、12a、13aを有する。集束回折素子の使用の場合には、回折素子の中央領域21、22、23を不透明24にすることが有用である可能性があり、そのため、この場合には回折され集束された光を測定する検出器に反射される光は存在しない。これはまた、各回折素子の中心部が配置される基板上に、屈曲した表面25をエッチングすることによっても達成することができる。同様に、光源に反射されて戻る光の量を最小化するために、光源上方の領域を不透明にし、またはエッチング20することが有用である可能性がある。これは、図8及び図9に示されている。

【0087】

図8は、回折され集束された光を測定する検出器上への、回折素子の中央領域からの0次回折に反射される光が存在しないように、集束回折素子の中央領域が透明にされ、または屈曲されることがどのように可能になるかを示している。

【0088】

図9は、図8と同様の実装形態であるが、光軸上の実施形態である。

【0089】

反射表面上に凹部を有する実施形態がある。代替的な実施形態は、図10に示すように

10

20

30

40

50

、平面内に回折素子(1a-d)を配置すること、及び反射表面内に凹部(2a-d)を実装することである。2つまたはそれ以上の回折素子が存在することができる。

【0090】

図11及び12において、光源及び検出器は、光ファイバー40を通して提供され、光ファイバー40は、本質的に既知の方法で、光を回折素子1(a-d)に向かって伝達する。この光は、選択されたスペクトルレンジを有してもよく、回折素子は、光ファイバーによって受け取られた光の波長が集束回折素子の同一性を示す、光ファイバーsaへ向けて光を集束して戻ることができるように、集束特性を有して提供されてもよい。回折素子の特性が既知であり、反射表面2に対する回折素子の位置が既知であるため、相対的な変位を知りうる。これは、図11においては、ファイバー端部に向けて集束する第1の回折素子1aとして、一方図12においてはファイバー端部に向けて集束する第4の回折素子として、図11、12に示されている。

10

【0091】

そのため、まとめると、本発明は、第1の少なくとも部分的に反射性の表面及び少なくとも2つの回折パターンを有する第2の表面を含む光学変位センサであって、パターンは第1の表面から異なる距離を有する、及び/または所定の方向に異なる波長の光を向ける、光学変位センサに関する。回折パターンは、光をその異なる回折次数(0次回折、すなわち反射を含む)に向け、回折次数のいくつかの強度は、異なる信号を発生させることができるように測定可能である。この発明は、少なくとも2つの回折パターンによって発生した少なくとも2つの信号を必要とする。信号は、2つの表面の間の距離がおおよそ $1/8$ よりも大きな範囲で変化しないという必要性を緩和することを可能にする位相オフセットを有しなければならない。信号はまた、以下の、センサのおおよそ $1/8$ から数 \times へのダイナミックレンジの増加、照射強度における変動の打消しの1つまたは2つを可能にしうる。

20

【0092】

特許文献1は、「差分マイクロフォン」の実装形態を説明しており、2つの異なる高さを有する2つの回折素子は、照射強度の変動を打ち消すように、 180° の位相オフセットを有する2つの信号を発生させる。しかし、2つの信号は、2つの表面の間の距離がおおよそ $1/8$ よりも大きく変動しないという必要性の緩和を可能としない。

【0093】

本発明の好適な実施形態によれば、第1の少なくとも部分的に反射性の表面と、少なくとも2つの回折パターンを有する第2の表面と、を含む光学変位センサであって、表面は、これらの間の距離が可変である素子上に提供され、各対が、その間にキャビティを画定する部分的に反射性の表面及び回折パターンからなる、光学変位センサに関する。

30

【0094】

センサはまた、少なくとも1つの選択された波長範囲の光をこのキャビティ内に伝達する少なくとも1つの光源と、キャビティからの光を受け取る少なくとも1つの光検出器と、を含み、各対が、その範囲内の選択された波長で最大回折効率を提供するように適合され、この回折パターンが、少なくとも1つの回折次数の光を、回折表面に対する既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合され、検出器は、各対に対応する回折効率位相を測定するように適合される。

40

【0095】

回折パターンと選択された回折次数との間の高さまたはキャビティ距離の差は、光検出器において発生した信号が、互いに対して所定の位相オフセットを有するように選択される。そのとき、信号は、光源強度に独立であり、光源の波長のおおよそ $1/8$ よりも長い動作レンジに渡って高い感度及び線形性を有する、2つの表面間の距離の測定を提供することができるように処理可能である。

【0096】

光強度変動の効果を低減することができるとともに、大きなダイナミックレンジを提供する第1の、好適な実施形態は、選択された波長においてそれぞれ、 0° 、 120° 及び

50

240°の位相オフセットを有して測定された、回折光を提供するキャビティ長さを有する3つの回折パターン及び3つの対を提供してもよい。

【0097】

代替的に、本発明は、キャビティ長さを有する2つの回折パターン及び2つの対を含む。この場合、第1の回折パターンは、第1のパターンから回折され、反射された信号間にそれぞれ0°及び180°の位相オフセットを提供する。第2の回折パターンは、回折と反射との間で、選択された波長において90°及び270°の位相オフセットを提供するように選択される。

【0098】

また、少なくとも1つの選択された波長レンジにおける光を前述のキャビティ及び少なくとも1つの光検出器に伝達する少なくとも1つの光源を含むセンサは、キャビティからの光を受け取るために含まれる。

【0099】

回折パターンは、光を、前述の回折表面に対する既知の位置に提供された少なくとも1つの検出器に向けるように適合される。各キャビティ及び回折パターンはまた、例えば、パターンの異なる回折回数に関して配置されたいくつかの検出器に光を伝達してもよい。

【0100】

回折パターンは、各センサに向けて光を集束し、そのため、センサの効率及び感度を増大させる回折レンズであってもよい。

【0101】

回折レンズは、パターン平面内のビーム中心に対してずれた光軸を有する円形パターンによって構成されてもよく、そのためビーム中心に対して半径方向にずれた焦点を有してもよく、そこに、検出器または光ファイバーなどのその他の光サンプラーが配置されてもよい。

【0102】

各回折レンズの中央領域は、光源から検出器まで反射を向けるのを避け、そのため、選択された波長レンジ内の光のみが確実に検出器に向けて集束されることができるよう、表面処理を有して提供される。表面はまた、光源に反射を戻すように向けることを防ぐその他の方法で処理されてもよい。

【0103】

キャビティ間のキャビティ長さの違いは、格子から向けられた光の間の選択された位相差を提供するように選択されてもよい。光源から伝達された光のビーム幅は、好適には回折部分及びキャビティの領域に相当する特定領域を覆うように選択されてもよい。そのため、ビーム断面に渡るキャビティの大きさは、キャビティが本質的に同じ量の光にさらされるように、ビーム内の本質的に等しい領域を覆う。キャビティ及び回折パターンの形状もまた、この目的のために選択されてもよい。

【0104】

1つの実施形態によれば、光源はこの反射領域と同軸に配置され、このキャビティ及び検出器は、この軸の周りに分布され、キャビティは軸の周りの等しい大きさの区画を構成する。

【0105】

代替的に、光源は、この軸から外れて位置してもよく、そこでは、キャビティは、この中央の中央からの距離に対する外周の本質的に等しい領域及び本質的な区画を覆う。これらの形状は、等しい量の光強度を受け取ることができるよう計算される。

【0106】

光源は、選択された波長レンジで放出する任意の利用可能な種類からなるものであってよく、少なくとも1つの光ファイバーを通してキャビティに向けて伝達しうる。1つの実施形態によれば、光源は、いくつかの選択された波長で光を伝達し、1つまたはいくつかの受光ファイバーに向けて1つの選択された波長で光を向けるそれぞれの回折パターンは、少なくとも1つの検出器に接続される。

10

20

30

40

50

【0107】

光源はまた、いくつかの選択された波長で光を伝達する光ファイバーを通してキャビティを照射するように選択されてもよく、同じ光ファイバーに向けて光を向けるように戻す各回折パターンは、例えばビームスプリッターなどを通して、信号を1つまたはいくつかの検出器に伝達するように適合される。

【0108】

そのため、光ファイバーを使用しない、入出力を兼ねる1つのファイバー、照射のための1つのファイバー及び、受容して検出器に伝達するためのいくつかのファイバー、いくつかの入力及びいくつかの出力、並びにいくつかの入力ファイバー及び1つの出力を含む、いくつかの選択肢が可能であり、例えば、入力信号が多重化される。上述のように、同じ1つまたは複数のファイバーが、入力及び出力のために使用されてもよい。

10

【0109】

さらに、分散素子が、照射ファイバーと、異なる回折パターンに対して異なる波長を導く回折パターンとの間に適用されてもよい。そのため、全ての選択された波長で全てのキャビティを照射する代わりに、各波長が、対応するキャビティに向けられ、ファイバーに戻されるように、ファイバー出力とキャビティとの間の分散素子を使用することが可能である。

【0110】

好適には、キャビティは、例えば回折パターンによって隔てられた波長によって得られる間隔を増大させることができるように、異なるキャビティ長さを画定する。

20

【0111】

キャビティは、用途並びに利用可能な光源、回折パターン及び検出器に応じた、任意の選択された波長レンジまたは複数のレンジで照射されてもよい。全てのキャビティは、完全な範囲で照射されてもよく、または異なる波長は、例えばキャビティ長さ及びパターン特性に応じて、異なるキャビティに向けて選択的に伝達される。

【0112】

上述のように、本発明は、表面、関連するキャビティ及び回折パターンを照射するために使用される光のいくつかの波長に渡る範囲のセンサの反射表面間の移動を覆う、幅広いダイナミックレンジを得るための手段を提供する。これは、有利には、感度を維持しつつ、表面間の小さな変位と大きな変位との間のダイナミックレンジの増大を提供するマイクロフォンに使用されてもよい。

30

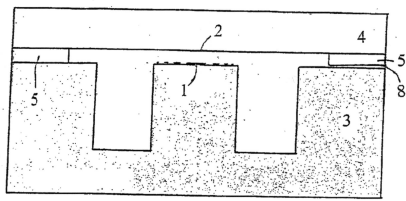
【符号の説明】

【0113】

- 1 a - d 回折素子
- 2 表面
- 3 基板
- 4 メンブレン
- 5 スペーサ
- 6 フレーム
- 7 光源
- 8 a - d 光検出器
- 10 光源の位置
- 11、12、13 回折素子
- 21、22、23 中央領域
- 25 屈曲した表面
- 31、32、33 検出器の位置
- 40 光ファイバー

40

【 図 1 】



【 図 2 】

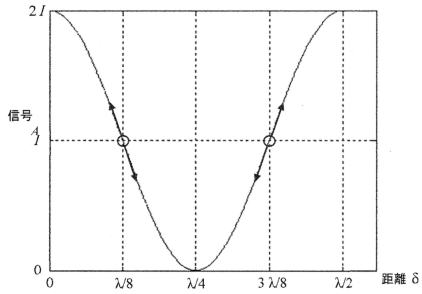


Fig. 2

【 図 3 】

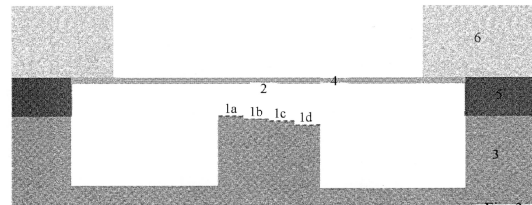


Fig. 3

【 図 4 】

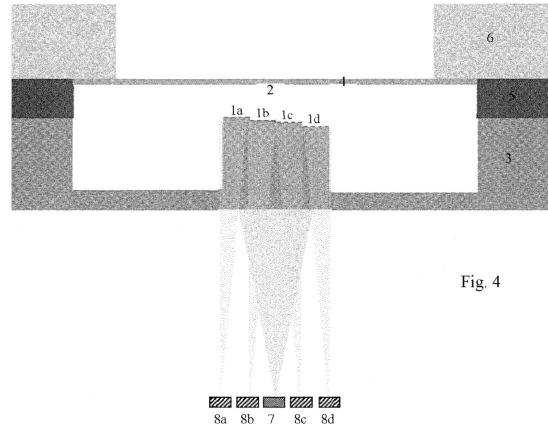


Fig. 4

【 図 5 】

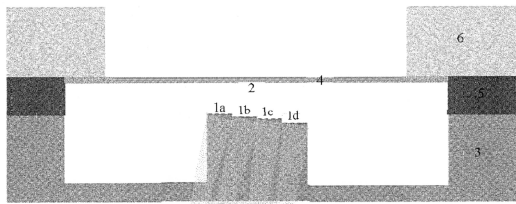


Fig. 5

【 図 6 b 】

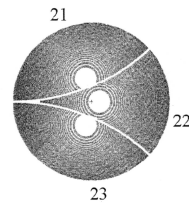


Fig. 6b

【 図 6 c 】

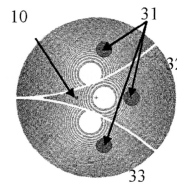


Fig. 6c

【 図 6 a 】

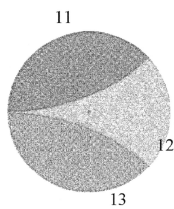


Fig. 6a

【 図 7 】

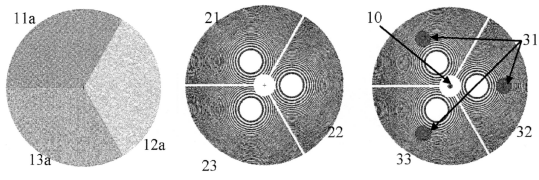


Fig. 7

【 図 9 】

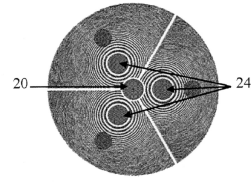


Fig. 9

【 図 8 】

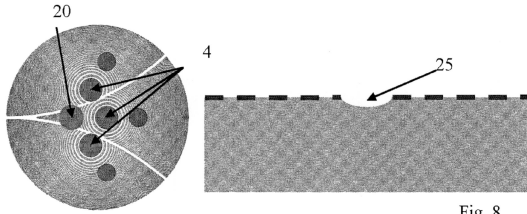


Fig. 8

【 図 10 】

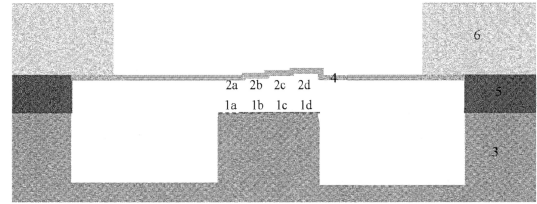


Fig. 10

【 図 11 】

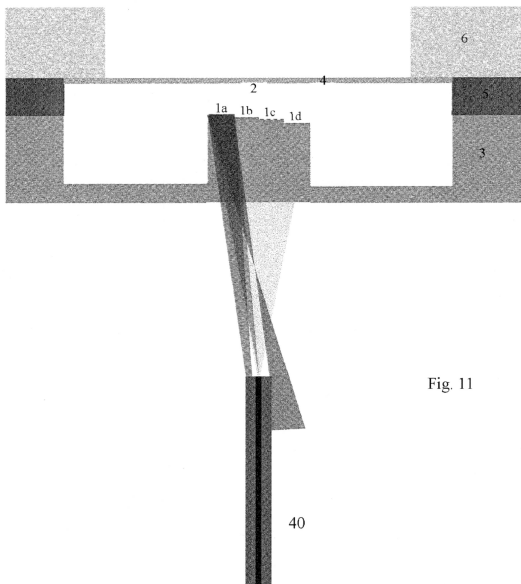


Fig. 11

【 図 12 】

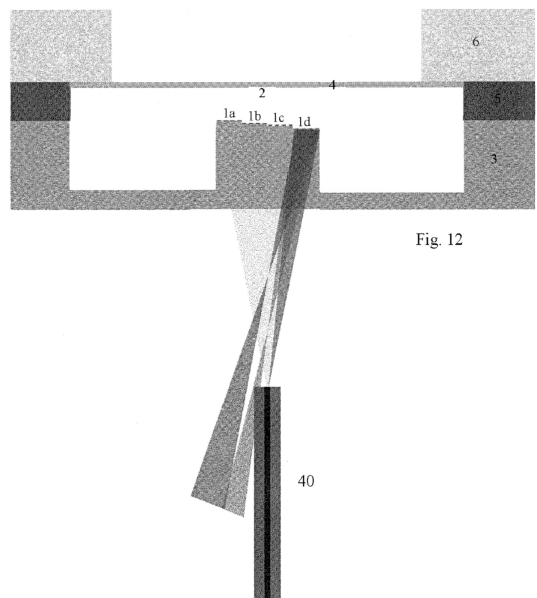


Fig. 12

フロントページの続き

- (72)発明者 イブ・ルネ・ヨハンセン
ノルウェー・0882・オスロ・スヴェンセンガ・174
- (72)発明者 トール・バッケ
ノルウェー・1366・ライサカー・ライサカー・ブリッゲ・14
- (72)発明者 オーレ・ヘルマン・ビョル
ノルウェー・1389・ヘッゲダール・ギェルム・テラス・9アー

審査官 仲野 一秀

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0018541(US, A1)
特開2010-210708(JP, A)
特開昭60-64215(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/00
G01L 11/02